

Aus der Zellwand an die Zapfsäule – Ein möglicher Weg?

Pflanzliche Zellwände bestehen zum Großteil aus Zuckerbausteinen, die, wenn an Mikroben verfüttert, in Ethanol umgewandelt werden können. Ethanol wird bereits seit Langem durch die Fermentation von hochmolekularen Zuckern aus Samen, wie z.B. aus Weizen- und Maiskörnern (Stärke), oder durch die Fermentation von niedermolekularen Zuckern aus Pflanzensäften, wie im Falle des Zuckerrohrs oder der Zuckerrübe (Saccharose), hergestellt, nicht jedoch aus pflanzlichen Zellwänden.

Lutz Neumetzler, Ulrike Rudolph, Marek Mutwil und Staffan Persson

Auch die junge Autoindustrie liebäugelte bereits seit den 1920er Jahren mit der Möglichkeit Bioethanol als Treibstoff zu verwenden. Als Rohstoff diente auch hier schon damals vorwiegend Stärke oder Saccharose. Das sogenannte 'Bioethanol der ersten Generation' steht aber nunmehr in direkter Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion und birgt weltweit politische sowie wirtschaftliche Risiken, die jetzt schon spürbar sind wie z.B. an der Verteuerung von Nahrungsmitteln in Südamerika („Tortilla-Phänomen“). Bauern, die ihre Mais- oder Rübenernte an die Bioethanol bzw. Treibstoff produzierende Industrie verkaufen, erwirtschaften meist höhere Erträge. Dies führt wiederum dazu, dass der Nahrungs- und Futtermittelindustrie ihre Rohstoffe entzogen werden und die gestiegene Nachfrage höhere Lebensmittelpreise nach sich zieht. Um dies nicht weiter zu forcieren und stattdessen andere Ressourcen bzw. Mehrwert aus bis jetzt ungenutzten Bei- oder Abfallprodukten zu gewinnen, versuchen Forscher weltweit pflanzliche Zellwände nutzbar zu machen, um folgerichtig 'Bioethanol der zweiten Generation' produzieren zu können, der nicht in direkter Konkurrenz zu unser aller Lebensgrundlage steht.

Pflanzliche Zellwände bestehen zum Großteil aus Zellulose, die wie Stärke aus Glukosebausteinen besteht. Im Gegensatz zur Stärke (glykosidische alpha-1,4-Bindung) sind die Glukosemonomere jedoch um 180° gedreht (glykosidische beta-1,4-Bindung) und „stehen sozusagen kopf“. Dies verhindert z.B. auch, dass die langkettigen Zellulosefasern im menschlichen Körper abgebaut und genutzt werden können, sondern als Ballaststoffe dienen. Anders verhält es sich jedoch in den Verdauungstrakten von Wiederkäuern, die zusammen mit ihrer Flora in der Lage sind Zellulose zu zerlegen. Des Weiteren sind einige Pilze und Bakterien bekannt, die entweder nekrophytisch, parasitär oder symbiotisch leben, und es je nach Lebensart geschafft haben verschiedenste Bestandteile der Zellwand zu modifizieren oder abzubauen. Diese Organismen stellen neben ihrer biologischen Aufgabe eine wertvolle Ressource zur biotechnologischen Gewinnung von Enzymen dar, die sich spezifisch zur Zellwand-Saccharifizierung eignen. Um der Anforderung auf die Erschließung neuer Ressourcen gerecht zu werden, bedarf es jedoch eines umfassenden Verständnisses des Aufbaus pflanzlicher Zellwände und deren Stoffwechsel. Soweit bislang bekannt können in der Zellwand einer einzigen Zelle bis zu

über 50 verschiedene Verknüpfungen von Zuckerbausteinen vorhanden sein. Diese faszinierende Komplexität erhöht sich mit der Vorstellung, dass eine Pflanze aus einer Vielzahl von spezialisierten Geweben und Organen besteht, wie z.B. den Leitgeweben, die wiederum auch spezialisierte Zellwände benötigen um ihre Funktionen zu erfüllen. Die natürliche Komplexität erhöht sich um einen weiteren Faktor, wenn man sich nun vorstellt neue, bis jetzt nicht erforschte, auf kargen Böden oder an besonderen Standorten wachsenden Pflanzen mit all ihren nur erdenklichen extravagantesten Anforderungen an funktionstüchtige Zellwände als neue Ressource erschließen zu wollen. Pflanzliche Zellwände sind hochkomplexe Gebilde, die aus hochmolekularen Zuckern bestehen, die wenn man sie zu Bioethanol verarbeiten möchte, erst einmal in ihre niedermolekularen Bestandteile zerlegen muss. Dieser Prozess ist augenblicklich ein immenser Kostenfaktor, der die Frage aufwirft 'können wir anstelle der kostenintensiven Zerlegung hochkomplexer Moleküle nicht die Pflanze veranlassen weniger komplexe Zuckerpolymere (und im Idealfall vielleicht sogar mehr davon) zu synthetisieren', die sich dann folglich einfacher handhaben lassen. Um nur einen kleinen Teilschritt dieser Überlegungen überhaupt bewerkstelligen zu können, bedarf es eines weit umfassenderen Verständnisses der Zellwandbiologie als wir es momentan vor Augen haben.

Vor allem in den USA

haben es sich gleich mehrere finanzstarke Konsortien zur Aufgabe gemacht, Gene und deren Proteine/Enzyme, die die Zellwände auf- und umbauen zu charakterisieren. Diese Enzyme lassen sich in Zellwand aufbauende Glykosyltransferasen und Zellwand abbauende Glykosylhydrolasen unterteilen. Das aus dieser Forschung gewon-

Abb. 1: KBBE – Zellwand Konsortium. v.l.n.r. stehend: Hugo Alonso, Sébastien Antelme, Ignacio Zarra, Elisabeth Jamet, Javier Sampedro, Elene R. Valdivia, Marek Mutwil, Staffan Persson, Thibaut Douché, Richard Sibout, Rafael Pont-Lezica; v.l.n.r. kniend: Oumaya Bouchabké-Coussa, Lutz Neumetzler, Herman Höfte



Arbeitsmaterial

Modul 3 Lebenssystem Pflanze

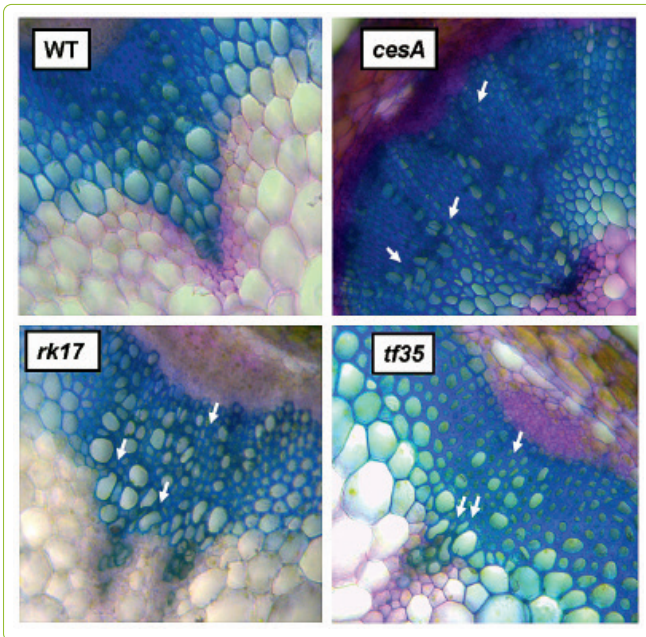


Abb. 2: Querschnitte von 4-6 Wochen alten Ackerschmalwand Stämmen (*Arabidopsis thaliana*) gefärbt mit Toluidine blue. WT: Col-O, *cesA*: Mutanten Linie eines Zellulose-Synthasegens, das während der sekundären Zellwandsynthese (Xylem) exprimiert ist, Beispiele von T-DNA Insertionslinien von einer Rezeptor-Kinase (*rk17*) und eines Transkriptionsfaktors (*tf35*), die mit den sekundären Zellulose-Synthasegenen co-exprimiert sind. Pfeile deuten auf kollabierte Xylemelemente in den Mutanten, auch bekannt als irregular xylem (*irx*) Phänotyp.

nene Wissen über die Funktionsweise dieser Enzyme kann dann zum einen zur gezielten molekularbiologischen oder züchterischen Veränderung von sogenannten Feedstocks, und zum anderen zur effizienteren Verwertung und Zerlegung des pflanzlichen Rohmaterials genutzt werden.

Das KBBE – Zellwand Projekt (Abb. 1) besteht aus einer deutschen (Dr. Staffan Persson, MPI für Molekulare Pflanzenphysiologie, Golm), zwei französischen (Prof. Dr. Herman Höfte, INRA, Versailles; Prof. Dr. Elisabeth Jamet, CNRS, Toulouse), einer spanischen Forschungsgruppe (Prof. Dr. Ignacio Zarra Cameselle, USC, Santiago de Compostela) sowie einer spanischen Firma (Dr. Hugo Alonso Cantabrana, Synergia Bio – Grupo Bionostra).

Das Konsortium KBBE – Zellwand

hat es sich nun zur Aufgabe gemacht nicht einzelne Glykosyltransferasen/-hydrolasen zu erforschen, sondern geht sogar noch einen Schritt weiter und möchte regulatorische Netzwerke, die den pflanzlichen Zellwandmetabolismus steuern, aufdecken. Das heißt im Klartext, es gilt relevante Steuerungselemente (Transkriptionsfaktoren, Rezeptorkinasen) zu finden, die die zuvor beschriebenen Glykosyltransferasen und Glykosylhydrolasen an- bzw. ausschalten oder allgemein formuliert kontrollieren. Es ist anzunehmen, dass einige dieser Steuerungselemente einerseits jeweils nur individuell die ein oder andere Glykosyltransferase/-hydrolase regulieren. Andererseits gibt es bereits Beispiele in denen übergeordnete, sogenannte Masterswitches gefunden wurden. Diese Masterswitches könnten somit ganze Stoffwechselwege oder Großteile davon, also mehrere Glykosyltransferasen/-hydrolasen gleichzeitig beeinflussen und in folge dessen den Aufbau bzw. und die Nutzbarkeit der Zellwandzucker entscheidend verändern. Augenblicklich sind über 50 verschiedene *Arabidopsis* T-DNA Insertionslinien von Rezeptor-Kinasen und Transkriptionsfaktoren, die mit sekundären Zellulose-Synthasegenen co-exprimiert sind (Mutwil et al., 2010), in Untersuchung. Erste Erfolge konnten bei Identifizierung eines Phänotyps (Abb. 2), der charakteristisch für Veränderungen in der sekundären Zellwand ist und kollabierte Xylemelemente zeigt (irregular xylem, *irx*; Brown et al., 2005), verbucht werden. Wie oben bereits erwähnt erfüllen Zellwände spezialisierte Funktionen und

ein wie auch immer gearteter Eingriff in deren Biologie oder Struktur zieht unweigerlich Konsequenzen nach sich, die in den meisten Fällen zu einer verminderten Fitness führen. Nun beginnt die eigentliche Aufgabe der angewandten Forschung, nämlich regulatorische Module an- und auszuschalten bzw. gegeneinander auszutauschen, um z.B. hochkomplexe Zellwandpolymere vielleicht durch einen Überschuss an weniger komplexen Polymerzuckern zu ersetzen. Das Ausbalancieren zwischen Fitness/Biomasse/Ertrag Zellwand und später deren einfache Verwertbarkeit ist eine weitere Herausforderung, die es zu meistern gilt. All diese Gedankenkonstrukte stehen augenblicklich jedoch noch auf wackligen Beinen, die es gilt in den nächsten Jahren aus dem Bereich des Wunschdenkens zu holen und in ein solides, forschungsbasiertes Fundamente einzubetten.

Ein bereits angedeutetes Ziel des Projektes KBBE – Zellwand

ist es die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in eine Anwendung zu übertragen. Nutzpflanzen lassen sich generell in einkeimblättrige, wie z.B. Gräser (alle Getreide, Zuckerrohr), und zweikeimblättrige Pflanzen (Tomaten, Kartoffeln, Laubgehölze) unterteilen. Gräser haben im Gegensatz zu Zweikeimblättrigen andere Wachstumsmechanismen sowie eine andersartige Zellwand. Um eine größtmögliche und anwendungsorientierte Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse zu stützen, wird im KBBE – Zellwand Projekt zeitgleich an den beiden Modellorganismen Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*, zweikeimblättrig) und *Brachypodium distachyon* (einkeimblättrig) gearbeitet. Zudem ist die Forschung auf die lignifizierten oder 'verholzten' Gewebe der Modellpflanzen fokussiert, um auch einen zukünftigen Wissenstransfer in Hinblick auf die Verwertbarkeit in der Holzindustrie zu erleichtern. Dank der kürzlich bekannt gewordenen Genomsequenz des Grases *Brachypodium* und der Einbindung industrieller Partner in das Projekt, sollten die erworbenen Erkenntnisse problemarm auf die Nutzung der Zellwände von Gras- und Getreidearten übertragen werden können. Die zusätzliche Gewinnung von Bioethanol aus den Zuckern der Zellwände, hergestellt aus der ungenutzten Biomasse (z.B. Stängel, Blätter) wird somit dem Ausdruck 'Strohfeuer' in der Zukunft hoffentlich eine brandneue Bedeutung verleihen.

Arbeitsaufträge

1. Informieren Sie sich über den Aufbau der Zellwände pflanzlicher Zellen und die chemische Struktur der Kohlenhydrate.
2. Notieren Sie Probleme und Ziele des Forschungsprojektes KBBE – Zellwand.
3. Das „Tortilla-Phänomen“ – Diskutieren Sie mit Ihren Mitschülern diese Problematik.